



Digitale Bibliothek Braunschweig
Publikationsserver der TU Braunschweig

Autor: Rolf Kloss

Titel: Procesos Anaerobicos Intensivos

Institut: Institut für Technologie, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 1990

Elektronisch veröffentlicht am: 14.05.2012

url: <http://www.digibib.tu-braunschweig.de/?docid=00043098>

Ursprünglich erschienen in:

ICAITI Guatemala, Hrsg ICAITI Guatemala 1990

Kloss, Rolf.

PROCESOS ANAEROBICOS INTENSIVOS1.- CINETICA DE LAS PLANTAS BIEN MEZCLADAS DE FLUJO CONTINUO

Existen varias tecnologías para la generación de biogas. La más difundida es la "Planta de Flujo Continuo", que viene siendo aplicada desde hace aproximadamente 60 años en el procesamiento de aguas residuales comunales, y desde hace 40 años en la agricultura.

La planta de flujo continuo trabaja con un volumen de digestor V_R constante, de mezcla total y es cargado diariamente con una masa constante $\dot{V}_{S,A}$ (figura No.1). La característica más importante de este tipo de plantas consiste en el volumen constante tanto de gas metano generado \dot{V}_M , como también de la masa bacteriana x .

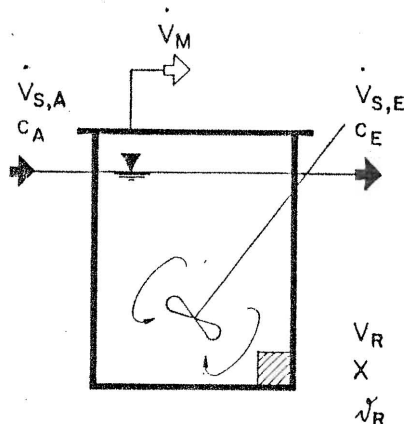


FIGURA No.1: Esquema de una planta bien mezclada con flujo continuo.

Parámetros constantes

$\dot{V}_{S,A}$	Volúmen diario del afluente
c_A	Concentración de la carga contaminante en el afluente
$\dot{V}_{S,E}$	Volúmen diario del efluente
c_E	Concentración de la carga contaminante en el efluente
\dot{V}_M	Volúmen diario de metano
V_R	Volúmen del biodigestor
x	Masa de la bacteria
T_R	Temperatura del proceso

La figura 2 muestra algunas formas típicas de construcción para la planta de flujo continuo. Se observa la planta de cúpula fija, con tanque de compensación, para volúmenes digestores de 5 a 35 m³ aplicada preferencialmente en el tratamiento anaeróbico de excrementos animales. Para volúmenes mayores se ofrecen reactores a ras del suelo construidos en formas de tanques con circulación externa; una solución que cubre digestores de un volumen de 100 a 500 m³.

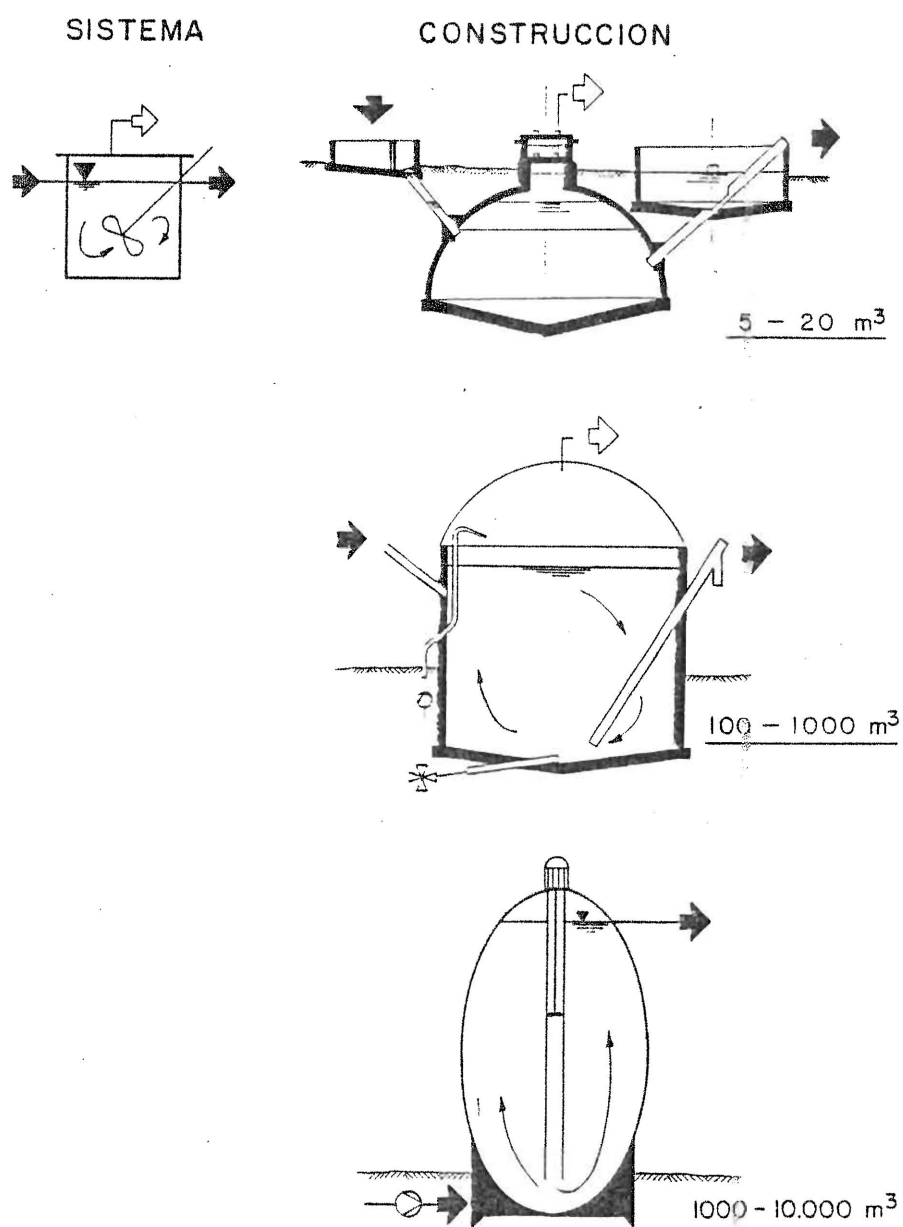
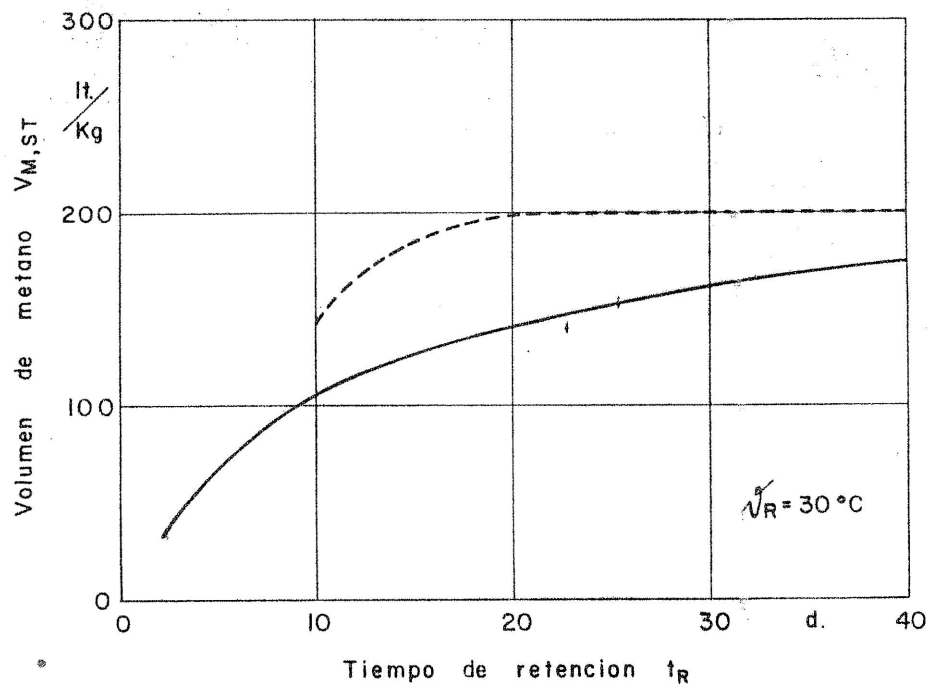


FIGURA No.2: Formas típicas de construcción de plantas bien mezcladas con flujo continuo.

Para reactores que exceden el tamaño anterior, las plantas construídas en hormigón armado ya no resultan económicas; para esos casos se ofrece la construcción en hormigón pretensionado con formaleteo sucesivo continuo, que ha permitido erigir reactores de un volúmen hasta los 15.000 m³.

El volúmen diario de metano a partir de la biomasa diariamente agregada a la planta de flujo continuo dependé del tiempo de retención t_R , la clase de sustrato y la temperatura del proceso T_R .

$$\dot{V}_M = f(t_R, \text{clase de sustrato}, T_R) \quad (1)$$



--- estiércol de cerdos : $C_{ST} = 6\%$

— estiércol de vacas : $C_{ST} = 10\%$

FIGURA No.3: Volúmen diario de metano de la masa orgánica $V_{M,ST}$ aplicada diariamente VS tiempo de retención t_R y tipo de sustrato; temperatura de del proceso: 30 hasta 35°C.

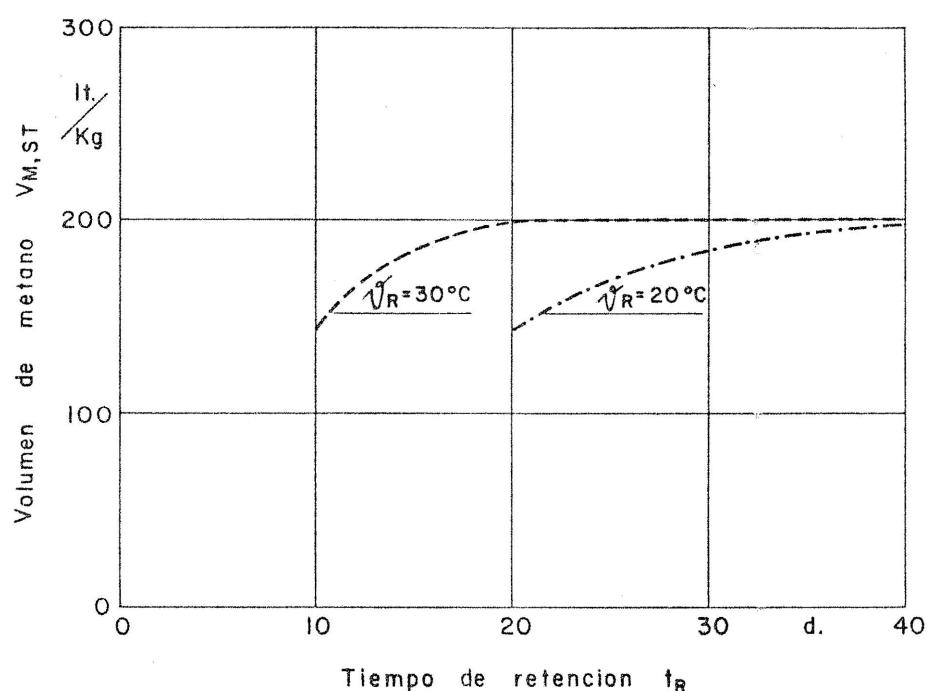
Concentraci3n de los sólidos totales c_{ST}

-- Estiércol de cerdos: 6%

— Estiércol de vacas : 10%

La figura 3 presenta el volúmen de metano generado diariamente como función del tiempo de retención t_R para diferentes clases de substratos elegidos como lodos comunales, estiércol de cerdos y reses a una temperatura de proceso entre los 30°C y 35°C.

Se puede constatar que el volúmen diario de metano \dot{V}_M aumenta cuando se prolonga el tiempo de retención t_R . El volúmen máximo de metano, correspondiente a la degradación mayor de la sustancia orgánica, se obtiene a un tiempo de retención de "infinito".



== estiércol de cerdos : $C_{ST} = 6\%$

FIGURA No.4 Volúmen diario de metano $V_{M,ST}$ de la masa orgánica aplicada diariamente VS tiempo de retención t_R y temperatura del proceso T_R .

Tipo de sustrato: Estiércol de cerdos con una concentración de los sólidos totales de 6%.

La figura 4 indica la incidencia de la temperatura en el procesamiento de estiércol líquido de cerdos, indicando que al disminuirse la temperatura del proceso se presenta también una considerable disminución de la velocidad de reacción. El mismo volúmen de metano que se obtiene a una temperatura de 20°C

y un tiempo de retención de 40 días se puede obtener también a una temperatura de proceso de 30°C y un tiempo de retención de 20 días. Se puede apreciar además que las curvas son muy parecidas. Un factor de compensación $a_{\mathcal{N}_R}$ permitiría hacerlas congruentes. La figura 5 muestra la interacción entre el factor de compensación, la velocidad relativa de reacción y temperatura haciendo evidente la relación exponencial entre estos factores.

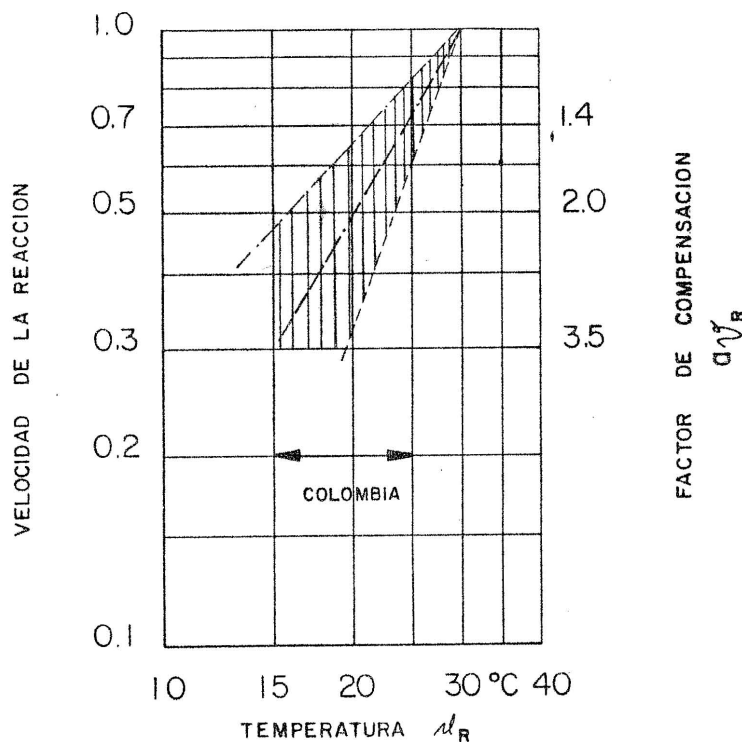


FIGURA No.5: Velocidad de la reacción y factor de compensación $a_{\mathcal{N}_R}$ VS temperatura del proceso \mathcal{N}_R .

//// Datos de la literatura

-.-.- Valor promedio

Los procesos biológicos son controlados por enzimas. La actividad de estos catalizadores biológicos determina en gran medida las velocidades de reacción de los procesos biológicos de degradación o síntesis. Por principio, todos estos procesos se desarrollan a mayor velocidad entre más alta sea la temperatura de la reacción. La sensibilidad de las enzimas a la temperatura que se sitúa por encima de los 40-50°C, establece sin embargo los límites para el

aumento de la velocidad reactiva. Las regiones del trópico y subtropical presentan temperaturas ambientales entre los 15-30°C, que permiten alcanzar velocidades de la reacción anaeróbica desde satisfactorios a excelentes. En Colombia estas condiciones climáticas se dan a alturas de 0 a 2000 m.s.n.m.

El parámetro más importante para el diseño de plantas de biogas es el volumen del reactor V_R . Para las plantas de flujo continuo, el volumen del reactor es determinado multiplicando la carga diaria \dot{V}_S , el tiempo de retención $t_{R,30^\circ\text{C}}$, y el factor de compensación a_R .

$$V_R = \dot{V}_S \times t_{R,30} \times a_R \quad (2)$$

La carga diaria \dot{V}_S , la temperatura del proceso T_R y con ella el factor de compensación de temperatura a_R son magnitudes fijas; variable es solo el tiempo de retención t_R .

En las consideraciones económicas ver referencia (1), se demuestra que el tiempo óptimo de retención es aquel que permite la transformación casi completa de la carga diaria, según la figura 3, para lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas un tiempo de retención de 10-20 días, para estiércol líquido de cerdos de 20-25 días, y para estiércol líquido de reses de 30 - 35 días para una temperatura de proceso de 30°C.

Podríamos comprobar aún en una gran variedad de sustratos que según su comportamiento de degradación, los valores para el tiempo de retención en plantas de flujo continuo están comprendidos entre los 10 y 40 días.

Si el tiempo de retención es inferior a 10 días, la reacción permanece incompleta y el proceso se vuelve inestable. Valores inferiores a 3 días no pueden obtenerse, ya que este tiempo se haya por debajo del tiempo necesario para la duplicación de las bacterias metanogénicas, lo cual produciría el arrastre de la población metanogénica del reactor, y en consecuencia la terminación del proceso de biogas.

2.- LÍMITES DE LA APLICACION DE PLANTAS BIEN MEZCLADAS DEL FLUJO CONTINUO

Los límites de la aplicación práctica de las plantas del flujo continuo se demuestran al diluir con agua una determinada carga contaminante tomada por

ejemplo en DQO. Si diluimos la carga contaminante del sustrato añadido diariamente al reactor, en un factor determinante, entonces el volumen del reactor aumenta en la misma proporción si se quiere obtener la misma degradación de la materia orgánica y el mismo volumen diario de biogas, o cantidad de energía generada diaria.

Según las ecuaciones 1 y 2 la concentración de la contaminación en el afluente no interviene en el dimensionamiento del volumen del biodigestor, pero si el caudal.

La tabla 1 demuestra que el estiércol líquido de cerdos procedentes de empresas porcinas en Colombia, comparado con el del Norte de Europa, es 20 veces más diluido, debido a su mezcla con agua de lavado. Quiere decir esto que los reactores deben ser dimensionados 20 veces más grandes para lograr la misma producción de gas.

SUSTRATO	CONTAMINACION EN DQO (mg/l)	TIEMPO DE RETENCION A 20°C	
		CLASICO	METODOS AVANZADO
Estiércol de cerdos, vacas con orina	100 - 150.000	40 - 60 d.	—
Diluido	5 - 7.500	40 - 60 d.	aprox. 4 d.
Matadero	3 - 17.000	—	14 - 20 h.
Café	5 - 20.000	—	18 h.
Yuca	3 - 5.000	—	—
Aguas negras domesticas	4 - 500	—	6 - 8 h.

TABLA No.1: Tiempos de retención necesarios en el funcionamiento de biodigestores convencionales y en los procesos anaeróbicos intensivos para la degradación de diferentes sustratos elegidos.

La tabla 1 presenta otros sustratos, como aguas residuales del beneficio de café, del procesamiento de la yuca, de la cría de animales y aguas residuales domésticas. El tratamiento anaeróbico de aguas residuales con plantas tipo continuo cuyos tiempos de retención son bastante largos (a 20°C

$t_R = 40 - 60$ días) hacen que el volumen del reactor sea bastante grande. Además debido a la baja concentración del sustrato hay baja producción de metano por m^3 de volumen de digestor lo cual hace que el tratamiento anaeróbico no sea económicamente atractivo.

Aun teniendo en cuenta el aspecto de la purificación de las aguas residuales, la alternativa del tratamiento anaeróbico sigue siendo superior.

3.- AREA DE APLICACIÓN DE LOS METODOS ANAEROBICOS INTENSIVOS

Debido a las intensas actividades de investigación y desarrollo tecnológico de los últimos 10 años, la situación descrita ha cambiado decisivamente.

El dimensionamiento de reactores expresado en forma simplificada ya no se realiza en base al tiempo de retención t_R , sino de la carga volumétrica B_R .

Por carga volumétrica se entiende el cociente de la carga contaminante S y el volumen del reactor V_R . La carga contaminante S es igual al producto de la concentración de la contaminación c_A y el volumen diario de sustrato agregado \dot{V}_S , o sea:

$$B_R = \dot{V}_S \times c_A / V_R \quad (3)$$

La dilución de la carga contaminante con agua no influye en el dimensionamiento, ya que no modifica la carga contaminante como tal.

Esta medida permite reducir el tiempo de retención especialmente para sustratos de concentración baja, de varias semanas a pocas horas, o sea por el factor 100 a 200. Con este mismo factor se reduce también el volumen del reactor.

Estos avances en la tecnología del proceso anaeróbico, resultado de los trabajos de investigación más recientes han permitido la aplicación de la técnica en otros campos cuyo alcance aún es difícil de establecer.

Las medidas que hicieron posible este progreso fueron las siguientes:

- 1.- Retención e incremento de la masa activa de las bacterias anaeróbicas en el reactor.
- 2.- La diferenciación de los tiempos de retención para los sólidos orgánicos insolubles y los sólidos orgánicos disueltos.

La figura 6 presenta 3 modelos típicos de reactores:

El reactor de lecho fijo (grafica A). Se trata de un reactor que es relleno de material de soporte. El material de soporte puede ser constituido por sus-

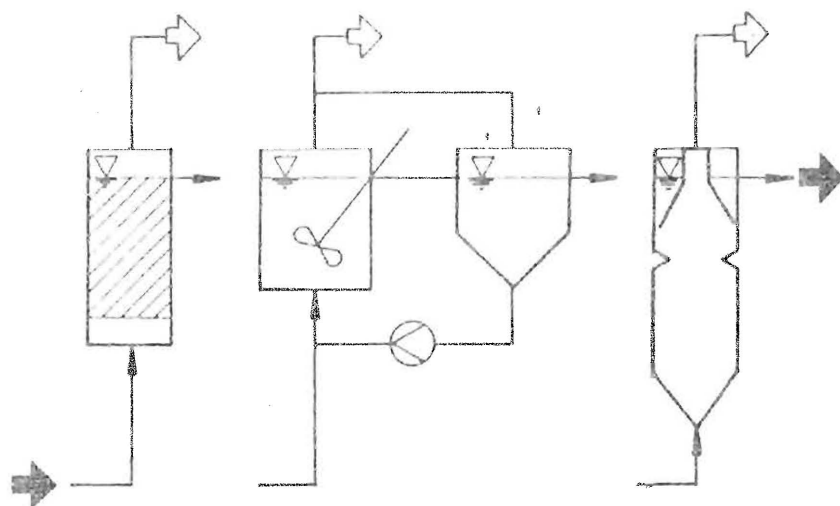


FIGURA No.6: Esquema de tres sistemas de tratamiento típicos de alta eficiencia.

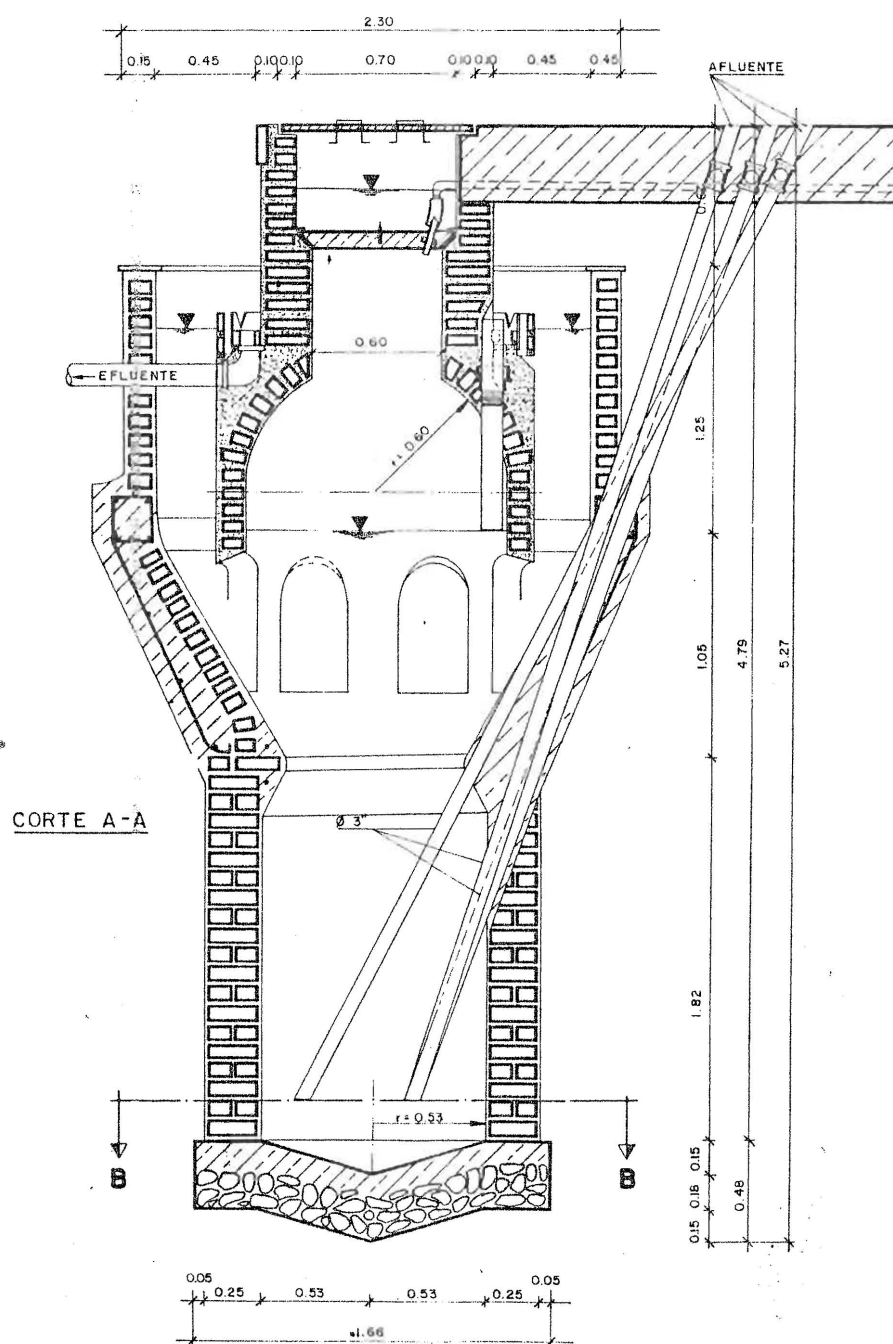
- A -Biodigestor anaeróbico de lecho fijo con material de soporte.
- B -Biodigestor anaeróbico con lodos activados
- C -Biodigestor anaeróbico con flujo ascendente y retención de lodos

tancias naturales (Bambú, roca) o sustancia artificiales, como láminas o espumas plásticas. El reactor incrementa la biomasa, ofreciendo superficies suficientes, donde se puede desarrollar en forma estacionaria.

Los reactores con lodos activados (Grafica B) y de flujo ascendente con retención de lodos permiten la retención de la biomasa mediante la sedimentación.

El Convenio Colombo Alemán de biogas ha involucrado en sus actividades la construcción para la divulgación de un reactor de flujo ascendente con retención de lodos. La solución se efectuó teniendo en cuenta que en el reactor de lecho fijo tiende a presentar obstrucciones y en el proceso anaeróbico de lodos activados se requiere de una bomba para su funcionamiento.

La forma planeada para la construcción de una planta de este tipo se puede apreciar en la figura 7 para el tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio de café. Esta planta fue diseñada por el Convenio Colombo-Aleman de biogas con un volumen de 4.0 m^3 . Se supone que esta planta puede servir también para el tratamiento de aguas residuales domésticas y del procesamiento de la yuca, sin necesidad de modificaciones constructivas importantes con el beneficio de la generación de biogas como fuente alterna de energía.



The drawing consists of two main parts: a plan view (top) and a cross-section B-B (bottom).

Plan View (Top): This view shows the circular layout of the biodigester. It features a central circular area with radial lines, surrounded by a ring of rectangular segments. A horizontal line passes through the center, with an arrow pointing left labeled "EFLUENTE" and an arrow pointing right labeled "AFLUENTE". The right side of the plan view shows a detailed view of the inlet pipe with a diameter of 0.40. The plan view also includes concentric circles with diameters of 0.23, 0.70, and 1.00.

Corte B-B (Bottom): This is a cross-section of the biodigester. It shows a circular structure with a central cavity. The cross-section is divided into segments by vertical lines. Below the cross-section, a dimension line indicates the total width of 1.66, with individual segment widths of 0.05, 0.25, 0.53, 0.53, 0.25, and 0.05.

Labels: The plan view is labeled "PLANTA - BIODIGESTOR" and the cross-section is labeled "CORTE B-B".

FIGURA No.7: Biodigestor de $4m^3$ con flujo ascendente y retención de lodos (Área de aplicación: aguas residuales, que en su mayor parte contiene sustancias orgánicas solubles como aguas residuales de beneficio de café, procesamiento de yuca, agua residuales domésticas).

Referencia:

- /1/ Kloss, Rolf.
Planung von Biogasanlagen nach technisch-wirtschaftlichen
Kriterien
München (Germany, F.R.); (1986), 285 p., ISBN 3-486-26136-3